


# Glossar

# Leuchtdioden

# Index

ITWissen
Das große Online-Lexikon
für Informationstechnologie


- **Abstrahlfläche**
- **AlInGaP,** *aluminium, indium, gallium and phosphorous*
- **Bin-Code**
- **Candela**
- **CCT,** *correlated color temperature*
- **CRI,** *color rendering index Farbwiedergabeindex*
- **Farbe**
- **Farbraum**
- **Farbtemperatur**
- **Farbton**
- **Footlambert**
- **Helligkeit**
- **InGaN,** *indium gallium nitride*
- **Kelvin**
- **LED,** *light emitting diode Leuchtdiode*
- **Leuchtdichte**
- **Licht**
- **Lichtart**
- **Lichtstrom**
- **OLED,** *organic light emitting diode*
- **PLED,** *polymere light emitting diode*
- **Power-LED**
- **Raumwinkel**
- **RC-LED,** *resonant cavity LED*
- **SOLED,** *stacked OLED*
- **SSL,** *solid state lighting*
- **UV-LED,** *ultraviolet light emitting diode*
- **Weiß**
- **WLED,** *white LED*
- **Impressum**

# Leuchtdioden

**Abstrahlfläche**
*emitting area*

Halbleiterstrahlungsquellen, die *Licht* in Lichtwellenleiter abgeben sollen, haben zu diesem Zweck eine Abstrahlfläche. Für die im Infrarotbereich verwendeten Strahlungsquellen, wie *Leuchtdioden* (LED) und Laserdioden (LD), ist der Durchmesser dieser Abstrahlflächen 50 bis 100 µm bei der LED und ca. 5 µm bei der Laserdiode.

**AlInGaP,** *aluminium, indium, gallium and phosphorous*

AlInGaP (Aluminium, Indium, Gallium, Phosphor) ist ein dotiertes Halbleitermaterial, das seit Anfang der 90er Jahre in *Leuchtdioden* (LED) eingesetzt wird. Die Dotierung AlInGaP hat in den spektralen Wellenlängen zwischen 630 nm und 670 nm, also bei Rot, Orange und Bernstein, eine besonders hohe *Lichtstärke*.

**Bin-Code**
*bin code*

Der Bin-Code ist ein einfacher Code in dem die Kennwerte für das Farb- und Helligkeitsempfinden von *Leuchtdioden* (LED) zusammengefasst sind. Er besteht aus dem Flux-Rating, der Vorwärtsspannung (Forward Voltage, Vf), den Farbtönen für *Weiß* und der Emissionsfarbe der Leuchtdiode.



*Aufbau des Bin-Codes*

Die einzelnen Kennwerte sind als Buchstaben und/oder Ziffern codiert. Es gibt allerdings davon abweichende Schemata, die mit einem Code für die *Helligkeit*, für die Wellenlängen und der Vorwärtsspannung arbeiten. Darüber hinaus gibt es neuere Bin-Codes, die genauer sind und bei denen die Farbflächen in den CIE-*Farbraum*

ITWissen
Das große Online-Lexikon
für Informationstechnologie

# Leuchtdioden

| | |
|---|---|
| **B1 ... B6** | **Blau, Wellenlängenbereiche zwischen 450 nm bis 480 nm, gegliedert in 6 Bereiche.** |
| **G1 ... G8** | **Blaugrün, Wellenlängenbereiche zwischen 491 nm bis 515 nm, gegliedert in 8 Bereiche.** |
| **G9 ... G19** | **Grün, Wellenlängenbereiche zwischen 515 nm bis 548 nm, gegliedert in 11 Bereiche.** |
| **YG1 ... YG7** | **Gelbgrün, Wellenlängenbereiche zwischen 555 nm bis 576 nm, gegliedert in 7 Bereiche.** |
| **Y1 ... Y5** | **Gelb, Wellenlängenbereiche zwischen 582 nm bis 597 nm, gegliedert in 5 Bereiche.** |
| **YO1 ... YO5** | **Gelborange, Wellenlängenbereiche zwischen 597 nm bis 609 nm, gegliedert in 4 Bereiche.** |
| **O1 ... O3** | **Orange, Wellenlängenbereiche zwischen 609 nm bis 618 nm, gegliedert in 3 Bereiche.** |
| **R1 ... R6** | **Rot, Wellenlängenbereiche zwischen 618 nm bis 636 nm, gegliedert in 6 Bereiche.** |

*Wellenlängenbereiche des Bin-Codes*

eingetragen sind. Das Flux-Rating gibt die minimale und maximale Helligkeit in *Lumen* (lm) an. Die Codierungsskala reicht von 13,9 lm bis 249,6 lm. Die Vorwärtsspannung (Vf) ist ein weiterer wichtiger Kennwert, der im Bin-Code mit Werten zwischen 2,31 V und 8,31 V codiert ist. Für die Farbnuancen von Weiß kennt der Bin-Code fünf Abstufungen zwischen grünlich bis leicht violett und bei den Emissionsfarben unterscheidet man zwischen Weiß, Königsblau, Blaugrün, Grün, Gelbgrün, Gelb, Gelborange, Orange und Rot. Wobei die einzelnen *Farben* mehrfach wellenlängenmäßig unterteilt sind.

**Candela**
*cd, candela*

Candela (cd) ist die Maßeinheit für die *Lichtstärke*, für die von einer Lichtquelle in einer bestimmten Richtung abgestrahlten Lichtenergie. Definitionsgemäß ist es die Energie, die ein schwarzer Strahler mit 1/60 qcm Oberfläche bei der Schmelztemperatur von Platin, bei 1.770 °C während einer Sekunde ausstrahlt. Die Einheit Candela gehört zu den Basiseinheiten des Einheitensystems (SI). Je höher der Candela-Wert ist, desto heller ist das emittierte *Licht*.

# Leuchtdioden

Ein Candela ist in 1.000 Millicandela (mcd) unterteilt.
Bezieht man die Lichtstärke auf eine Flächeneinheit, erhält man die *Leuchtdichte*.
Zwischen der Lichtstärke und dem *Lichtstrom* gibt es eine Beziehung über den *Raumwinkel* in Steradian. Danach ergibt sich Candela aus dem Verhältnis von Lumen zum Raumwinkel.
Typische Candela-Werte liegen im Wohnraum zwischen 3 und 12 Candela, im Büro zwischen 10 und 20 Candela und Schaufenster haben zwischen 60 und 300 Candela.

**CCT,** *correlated color temperature*

Die Correlated *Color Temperature* (CCT) beschreibt die relative Farbtemperatur einer weißen Lichtquelle. Die Abstufungen von *Weiß* reichen von Kaltweiß über Neutralweiß bis hin zu Warmweiß. Diese feinen Unterschiede, die im Binning eingeteilt sind, drücken sich im Farbempfinden aus, das Weiß als gelb-, orange- oder blaustichig charakterisiert. Die in *Kelvin* (K) angegebene Correlated Color Temperature steht für die diversen Weiß-Schattierungen. Kaltweiß hat den CCT-Bereich zwischen 10.000 Kelvin (K) und 4.500 K, der CCT-Bereich von Neutralweiß liegt zwischen 4.500 K und 3.500 K und der von Warmweiß zwischen 3.500 und 2.540 K.

**CRI,** *color rendering index*
*Farbwiedergabeindex*

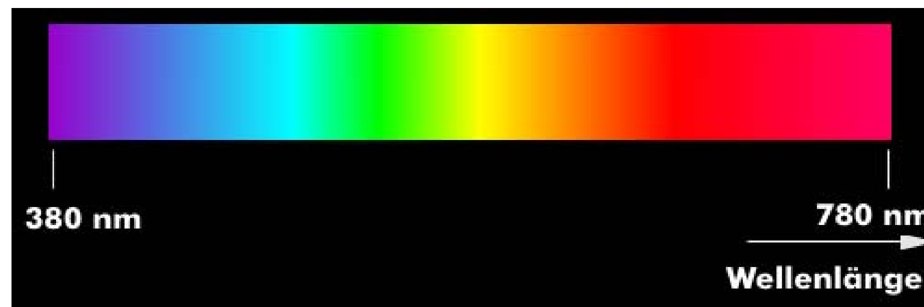
Der *Color* Rendering Index (CRI) ist der Farbwiedergabeindex, der zur Charakterisierung von Leuchtquellen dient. Er ist ein Index für die Natürlichkeit der Farbe. Je größer der Farbwiedergabeindex, der als CRI- oder Ra-Wert bezeichnet wird, desto natürlicher werden Farben wiedergegeben und desto angenehmer werden sie empfunden. Die Größe des Ra-Wertes kann zwischen 0 und 100 liegen und ist maßgeblich für die Farbwiedergabe von beleuchteten Gegenständen.
Der Farbwiedergabeindex ist ein Vergleichswert mit dem das Beleuchtungsspektrum von Lampen oder *Leuchtdioden* verglichen werden kann. Sonnenlicht hat den Farbwiedergabeindex

# Leuchtdioden

100. Es gibt eine Klassifizierung für den Farbwiedergabeindex; so wird ein Ra-Wert von 95 als hervorragend, einer von 90 als fair und einer von 80 als schlecht eingestuft. Der Farbwiedergabeindex unterscheidet sich von der *Farbtemperatur*, die zwischen kaltem und warmem *Licht* unterscheidet.
Neben Sonnenlicht mit einem Ra-Index von 100, haben beispielsweise Energiesparlampen einen Ra-Wert von etwa 80, *weiß* leuchtende Leuchtdioden, *WLEDs*, bringen es auf einen CRI-Wert von über 80. Eine Erhöhung des CRI-Wertes wird durch „warmweiß“ leuchtende LEDs erzielt, die mit zwei Leuchtstoffen arbeiten.
Der Farbwiedergabeindex wird nach DIN in sechs Stufen mit den bereits erwähnten Klassifizierungen angegeben. Meistens wird mit dem Farbwiedergabeindex auch die Lichtfarbe angegeben.

**Farbe**
*color*

Farbe ist eine subjektive visuelle Wahrnehmung, die durch sichtbares *Licht* von bestimmten Wellenlängen im menschlichen Auge hervorgerufen wird. Die Farbe wird durch das individuelle Empfinden des menschlichen Auges bestimmt ist und subjektiv von der Augenempfindlichkeit abhängig. Farben die das menschliche Auge erkennt liegen im Wellenlängenbereich zwischen 360 nm und 760 nm. In diesem Bereich liegen alle Farben, die das menschliche Auge wahrnehmen kann.
Farbe ist der visuelle Eindruck von dem *Farbton*, der Farbsättigung und der *Helligkeit*. Das Spektrum reicht von unbunt-dunkel-



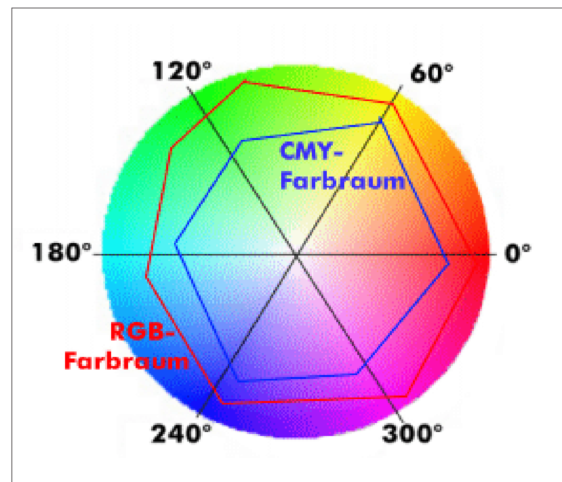
*Sichtbarer Lichtbereich*

# Leuchtdioden

ungesättigt (schwarz) über unbunt-hell-ungesättigt (*weiß*) bis hin zu bunt-dunkel-gesättigt und bunt-hell-gesättigt.
Das menschliche Auge kann etwa 400.000 verschiedene Farben wahrnehmen. Diese Zahl ergibt sich aus der wahrnehmbaren Anzahl an Farbtönen, ca. 130, an Farbsättigungen, ebenfalls ca. 130, und aus den wahrnehmbaren Helligkeitswerten, zwischen 15 und 25.
In der Farbenlehre unterscheidet man zwischen Primärfarben und Sekundärfarben, wobei die erstgenannten die Grund- oder Urfarben bilden, die anderen die Mischfarben, die aus der Mischung von zwei oder mehr Primärfarben entstehen.

**Farbraum**
*color space*

Die Erfassung, Verarbeitung und Ausgabe von farblichen Darstellungen erfolgt nach Farbmodellen. Die Farbmodelle bilden eine Optimierung dessen, was theoretisch an *Farben* darstellbar ist. Dieser Farbbereich heißt Farbraum oder Gamut und ist abhängig von den *Farbtemperaturen* oder den Koordinatenwerten der einzelnen Primärfarben.




*RGB- und CMY-Farbraum im Farbkreis*

Da die lichtumwandelnden Sensoren und Farbfilter in den Eingabegeräten von Scannern, Digitalkameras und Videokameras eigene Kennlinien und Hysteresen haben, und außerdem nicht exakt die Werte repräsentieren, die die Theorie vorgibt, kann die Farberfassung immer nur eine Näherung an die Farbmodelle darstellen. Gleiches gilt für die Ausgabegeräte, wie Monitore, Projektoren, Displays und Farbdrucker. Hier spielen die Wellenlängen von den Primärfarben Rot, Grün, Blau (RGB) der Phosphore,

# Leuchtdioden

Projektorlampen und Farbfilter sowie die Kennlinien und die Intensität der Druckerfarben eine entscheidende Rolle. Die Erfassung und Darstellung kann allerdings kein größeres Farbspektrum umfassen als die Farbmodelle theoretisch vorgeben. Der darstellbare Farbbereich der Geräte ist deren Farbraum und dieser liegt immer innerhalb des Farbraums von dem entsprechenden Farbmodell. Der Farbraum der Peripheriegeräte umfasst alle Farben, die nachgebildet werden können. Er ist also geräteabhängig und wird in bestimmten Druckerprogrammen im Farbkreis eingeblendet.

Mit anderen Farbräumen wie xvYCC und RGBCY und Hintergrundbeleuchtungen mit Wide Color Gamut (WCG) kann der Farbraum von Displays so erweitert werden, dass er fast alle in der Natur vorkommenden Farben umfasst.

Farbräume sind für die gleichen Farbmodelle unterschiedlich und hängen von den Wellenlängen der verwendeten Primärfarben ab, die unterschiedlich sein können. Um eine einheitliche Farbreproduktion mit einer breiten Farbpalette von der Bilderfassung bis zur Bildausgabe zu erhalten, benutzt man standardisierte Farbräume. Diese setzen zwangsläufig eine hochwertige Hardwaretechnik voraus und werden ausschließlich in der professionellen Bildbearbeitung eingesetzt. Anders ist es in der Konsumelektronik, dort werden Farbpaletten mit reduzierten Farbräumen eingesetzt. Ein solcher Farbraum ist der von sRGB. Mit Standard-RGB (sRGB) gibt es zwar einen definierten Farbraum, der allerdings nicht von allen Computer- und Konsumelektronikherstellern angewendet wird.

Der Farbraum wird durch das ICC-Profil vom International Color Consortium, einem normierten Datensatz, beschrieben. Der Anwender erkennt dies an der Extension *.icc.

**Farbtemperatur**
*CT, color temperature*

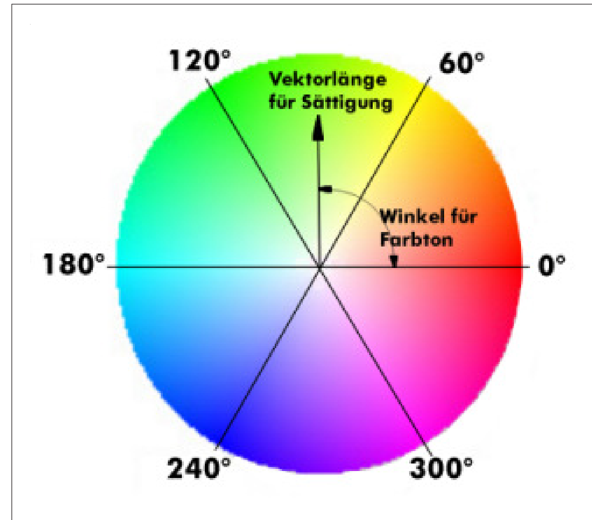
Zur Vergleichbarkeit von *Farben* und zum Zwecke der Farbmischung wird die spektrale Charakteristik des Lichts als Farbtemperatur in *Kelvin* (K) angegeben. Die Kelvin-Skala reicht

von Kunstlicht, dem langwelligen *Licht*, das bei Kelvin-Werten von 3.200 K liegt, über Tageslicht bis hin zu Blau, einem kurzwelligen Licht, von 10.000 K. Theoretisch entspricht die Farbtemperatur der Wellenlänge, die ein idealer schwarzer Körper bei Erhitzung auf die entsprechende Temperatur abgeben würde.
Der Weißlichtstandard, das ist das Normlicht für die Druckindustrie, hat 5.000 K (D50). Im CIE-*Farbraum* hat dieses *Weiß* xy-Koordinaten von 0,3457/0,3585. Die Farbtemperatur für Tageslicht ist abhängig von der Sonneneinstrahlung. Normales Tageslicht hat eine Farbtemperatur von 5.000 K (D50), während sie in der Mittagssonne 6.500 K Beträgt. Die CIE-Bezeichnung für diese Lichtart ist D65 und hat die xy-Koordinaten 0,312713/0,329016. Dieser Wert ist für Projektorlampen ideal, da bei dieser Farbtemperatur die projizierten Farben am natürlichsten dargestellt werden. Für einfache Monitore werden zeitweise Farbtemperaturwerte von 9.300 K benutzt, was die Farbdarstellung allerdings einschränkt.
Außerdem wird das Weißlicht in der Beleuchtungstechnik nach einer internationalen Farbbezeichnung spezifiziert. Dabei unterscheidet man zwischen Glühlampenweiß, Warmweiß, Neutralweiß und Tageslichtweiß, deren Farbtemperaturen die zweite und dritte Stelle der internationalen Farbbezeichnung bilden.
In der Studio- und Filmtechnik arbeitet man mit der reziproken Farbtemperatur, der daraus ermittelte Wert nennt sich Mired-Wert.

**Farbton**
*hue*

Der Farbton einer *Farbe* ist durch deren Spektralfrequenz bestimmt. Diese repräsentiert eine Lichtstrahlung mit einer bestimmten Wellenlänge. Es ist der subjektive farbliche Eindruck, der sich von Unbunt unterscheidet.
Farbtöne werden mit Farbnamen bezeichnet: Rot (R), Grün (G), Gelb (Y), Blau (B) usw. Dabei unterscheidet man nach einem Modell von Albert Henry Munsell (1858-1918) zwischen fünf

# Leuchtdioden




*Bestimmung der Farbart über den Farbwinkel und die Farbsättigung*

Hauptfarbtönen, neben den genannten noch Purpur (M) und weiteren fünf Zwischenfarbtönen, nämlich Gelb-Rot, Grün-Gelb, Blau-Grün, Purpur-Blau und Rot-Purpur. Diese zehn Farbtöne gleichmäßig in einem Kreisdiagramm angeordnet, ergeben den Farbkreis, bei dem der Nullpunkt bei Rot liegt. Im Farbkreis wird der Farbton durch den Winkel definiert. Rot hat den Winkel 0°, Gelb 60°, Grün 120°, Cyan 180°, Blau 240° und Magenta 300°. Farbtöne bilden zusammen mit der Farbsättigung bilden die Farbart.

Das menschliche Auge kann ca. 130 verschiedene Farbtöne unterscheiden. Der Farbton einer *Farbe* ist durch deren Spektralfrequenz bestimmt. Diese repräsentiert eine Lichtstrahlung mit einer bestimmten Wellenlänge. Es ist der subjektive farbliche Eindruck, der sich von Unbunt unterscheidet.

Farbtöne werden mit Farbnamen bezeichnet: Rot (R), Grün (G), Gelb (Y), Blau (B) usw. Dabei unterscheidet man nach einem Modell von Albert Henry Munsell (1858-1918) zwischen fünf Hauptfarbtönen, neben den genannten noch Purpur (M) und weiteren fünf Zwischenfarbtönen, nämlich Gelb-Rot, Grün-Gelb, Blau-Grün, Purpur-Blau und Rot-Purpur. Diese zehn Farbtöne gleichmäßig in einem Kreisdiagramm angeordnet, ergeben den Farbkreis, bei dem der Nullpunkt bei Rot liegt. Im Farbkreis wird der Farbton durch den Winkel definiert. Rot hat den Winkel 0°, Gelb 60°, Grün 120°, Cyan 180°, Blau 240° und Magenta 300°.

Das menschliche Auge kann ca. 130 verschiedene Farbtöne unterscheiden.

# Leuchtdioden

**Footlambert**
*fL, footlambert*

Footlambert (fL) ist eine Beleuchtungsgröße, die von diffusen Oberflächen emittiert oder reflektiert wird. Das Footlambert wird bei der Projektikon benutzt. Je höher der Wert ist, desto heller ist die Darstellung.
Das Footlambert ist eine veraltete Beleuchtungseinheit für die *Lichtstärke*, die in den USA benutzt wurde. 1 Footlambert entsprechen 3.426 *Candela* pro Quadratmeter (cd/qm).

**Helligkeit**
*brightness*

Die Helligkeit ist ein Maß für die Lichtleistung, die von einem Bildschirm abgestrahlt wird. Ist die Lichtleistung hoch, empfindet der Betrachter das Bild als hell, ist sie gering, empfindet er es als dunkel. Die Bewertung der Helligkeit erfolgt über die Maßeinheit *Candela*/qm. Eine als angenehm empfundene Helligkeit hat etwa 200 Candela/qm.
Die Helligkeit ist neben dem *Farbton* und dem Farbkontrast für die Erkennung von Bilddetails maßgeblich. Das menschliche Auge kann je nach Farbbereich zwischen 16 und 26 verschiedenen Helligkeitswerten unterscheiden, wobei das Helligkeitsempfinden logarithmisch ist. Dunklere Helligkeitswerte benötigen daher nur einen Bruchteil der tatsächlichen Intensität. So kann ein 50-prozentiger Grauwert mit nur etwa 20 % der Intensität erzeugt werden, die man für den Weißwert, also den 100-%-Wert benötigen würde.
Die Effizienz der Lichtumsetzung, die *Efficacy*, liegt bei Tageslicht bei 680 *Lumen* pro Watt (lm/W), bei einer Lichtwellenlänge von 555 nm.

**InGaN,** *indium gallium nitride*
*Indiumgalliumnitrid*

Indium-Gallium-Nitrid (InGaN) ist eine der bevorzugten Chip-Technologien für *Leuchtdioden* (LED). Mit InGaN können LEDs produziert werden, die *Licht* mit Wellenlängen von ultraviolett bis grün emittieren. Die unterschiedlichen Wellenlängen werden durch Änderung der Anteile an Indium und Gallium erzielt. Eingesetzt wird die InGaN-Technologie u.a. in Scheinwerfern und Blinklichtern von Kraftfahrzeugen.

# Leuchtdioden

**Kelvin**
*K, kelvin*

Kelvin (K) ist eine Maßeinheit für die Temperatur, die nach dem englischen Physiker William Thomson, Lord Kelvin (1824 bis 1907), benannt ist. Die Kelvin-Skala beginnt beim absoluten Nullpunkt, bei der kein Teilchen mehr Bewegungsenergie besitzt und der bei -273,15 °Celsius (C) bzw. 0 Kelvin liegt. Die Temperaturdifferenz von 1 K entspricht der von 1 °C. Damit ergibt sich bei 0 °C eine Temperatur von 273,15 K.
Das Kelvin-Grad wird in der Physik und in anderen technischen Bereichen wie bei der Angabe von *Farbtemperaturen* oder Rauschtemperaturen von LNBs in Satellitenempfangsanlagen verwendet. Ebenso bei der Angabe der Farbtemperatur von Projektorlampen.

**LED,** *light emitting diode*
*Leuchtdiode*

Eine Leucht- oder Lumineszenzdiode (LED) ist ein Halbleiterbauelement der Optoelektronik, das infolge Elektrolumineszenzerscheinungen Licht emittiert. Die Elektrolumineszenzdiode wandelt durch elektrischen Strom zugeführte Energie direkt in Licht um und ist eine Kaltlichtquelle. Das Prinzip beruht auf Elektrolumineszenz. Darunter versteht man die Fähigkeit von Halbleitern Elektronen mit gleichzeitiger Abstrahlung von Photonen zu verlagern. Dies geschieht durch einen sogenannten Elektronen- oder Quantensprung von einer Schale des Bohrschen Atommodells auf eine andere. Ein Quantensprung erfolgt immer unter Aufnahme oder Abgabe der Energiedifferenz. Bei dem Übergang von einer höheren in eine niedrigere Energiestufe wird die Energie in Form eines Photons abgegeben. Den Prozess der wechselseitigen Aufnahme von Energie und späterer Rückkehr in den Urzustand unter Abstrahlung von Licht (Photonen) nennt man Lumineszenz.
Für diese Photonen-Emission werden Halbleiter aus der 3. und 5. Gruppe des Periodensystems benutzt: Nitrate wie Galliumnitrid (GaN) oder Indiumnitrid (InN), Phosphide wie Galliumphosphid (GaP) oder auch Arsenide wie Galliumarsenid (GaAs) oder Indiumarsenid (InAs). Diese Halbleiter oder Kombinationen daraus bestimmen die Farbe der Lichtemission.

# Leuchtdioden

| Farbe von Standard-Leuchtdioden | Chem. Zeichen | Halbleitermaterial | Spannung |
|---|---|---|---|
| infrarot | GaAs | Gallium-Arsenid | 1,3 ... 1,5 V |
| rot | GaAsP | Gallium-Arsenid-Phosphid | 1,6 ... 1,8 V |
| hellrot | GaAsP | Galluim-Arsenid-Phosphid | 2,0 ... 2,2 V |
| gelb | GaAsP | Gallium-Arsenid-Phosphid | 2,0 ... 2,2 V |
| grün | GaP | Gallium-Phosphid | 2,2 ... 2,4 V |
| blau | GaN | Gallium-Nitrid | 3 V ... 5 V |
| blau | SiC | Siliziumkarbid | 2,8 V ... 3,0 V |

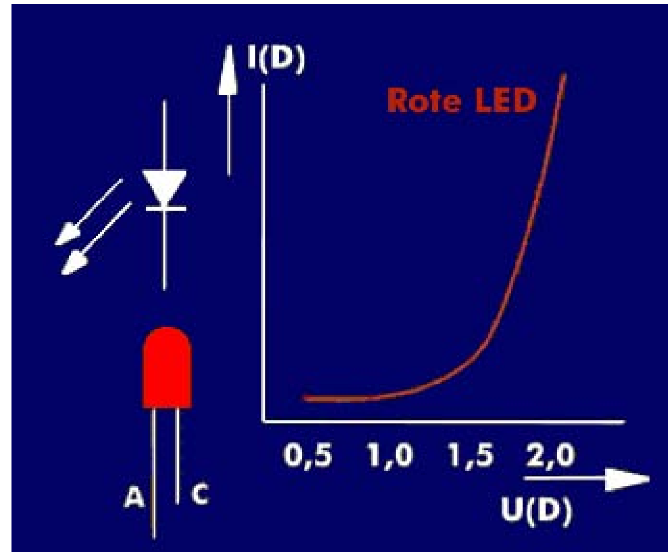
*Farben von Standard-Leuchtdioden*

Da kein Halbleiter ein weißes Licht emittiert, erzeugen weiß leuchtende LEDs, WLED, eine blaue Lichtemission, die eine darüber liegende Phosphorschicht wiederum zur Lichtemission anregt. Daher kann das Licht der weiß leuchtenden LEDs blaustichig sein. Die Farbtemperatur liegt bei etwa 5.600 Kelvin. Es gibt auch Leuchtdioden-Arrays mit einstellbarer Farbtemperatur, die das Tageslicht von 6.500 Kelvin erzeugen können.

Leuchtdioden werden ebenso wie Laserdioden in der Kommunikation als Lichtquelle für die Übertragung in optischen Medien benutzt, darüber hinaus als Statusanzeigen, in LED-Displays oder inzwischen auch in der Beleuchtungstechnik. Wichtige Kennwerte von Leuchtdioden sind der Lichtstrom sowie die im Bin-Code zusammengefassten Kennwerte für das Farb- und Helligkeitsempfinden.

Bei den in der optischen Übertragungstechnik eingesetzten LEDs liegt die Abstrahlfläche

# Leuchtdioden



*Kennlinie einer roten LED*

zwischen 50 µm und 100 µm und darüber. Sie werden daher primär in Multimodefasern eingesetzt. Da die Abstrahlung größer ist als der Kernglasbereich, spricht man bei der LED-Einkopplung von Overfilled Launch (OFL).
LEDs haben eine gewisse Trägheit bei der optischen Signalgenerierung, die auf ihre Schalthysterese zurückzuführen ist. Sie sind daher für hochbitratige Anwendungen wie sie in Gigabit-Ethernet, 10-Gigabit-Ethernet und 100-Gigabit-Ethernet vorkommen ungeeignet und werden durch VSEL-Laser ersetzt.
LEDs auf der Halbleiterbasis Gallium-Arsenid (GaAs) strahlen auf einer Wellenlänge von 850 nm. Es gibt sie aber auch in anderen Dotierungen für die Wellenlängen bei 1.300 nm und 1.500 nm. Die typischen Ausgangsleistungen liegen bei 1 mW, die Koppelverluste bei -17 dB.
Leuchtdioden erzeugen diffuses (inkohärentes) Licht, das in einem relativ großen Winkel abgestrahlt wird. Dieser liegt zwischen 40 und 90 Grad. Die spektrale Fensterbreite beträgt 70 nm und kann mit Modulationsfrequenzen von bis zu ca. 250 MHz moduliert werden. Die generierbaren Impulsanstiegszeiten liegen bei 1 ns, wodurch der Einsatz bei Übertragungsraten von 1 Gbit/s begrenzt ist.
Je nach Einkopplung unterscheidet man bei den LEDs zwischen Flächenemitter-LEDs und Kantenemitter-LEDs.
Leuchtdioden werden auch für die Hintergrundbeleuchtung von LCD-Displays entwickelt und

als Power-LEDs zunehmend in der Raumbeleuchtung und der Automotive-Technik in Form von LED-Lampen, LED-Spots und LED-Scheinwerfern eingesetzt. Die bereits zur Verfügung stehenden lichtstarken Leuchtdioden haben einen Lichtstrom von 200 Lumen und mehr, der von der Helligkeit her bereits im Bereich einer 20-W-Halogenlampe liegt und einem Farbwiedergabeindex von 95 entspricht.
Als Weiterentwicklungen sind die OLEDs, PLEDs, die UV-LEDs, die in der UV-Oberflächenbehandlung eingesetzt werden, und die AC-LEDs für die Raumbeleuchtung zu nennen, die direkt an das Stromnetz angeschlossen werden können.

**Leuchtdichte**
*light density*

Der Begriff Leuchtdichte wird bei Displaytechniken benutzt. Es handelt sich dabei um die *Lichtstärke* bezogen auf eine Flächeneinheit, angegeben in *Candela* pro Quadratmeter (cd/qm). Es ist das sichtbare *Licht*, das von einer *Leuchtdiode* oder einem Display in einer bestimmten Richtung abgestrahlt wird. Dabei kann die Abstrahlung durch Emission erfolgen wie bei den aktiven Displaytechniken, beispielsweise beim TFT-Display oder beim Plasma-Display, sie kann aber ebenso durch Reflexion verursacht werden, wie beim LCD-Display.
Häufig wird die Leuchtdichte auch in nits angegeben. Dabei handelt es sich um die in USA gebräuchliche Angabe, die

| | |
|---|---|
| **Beleuchtungsstärke $E_v$** | |
| lx = lm/qm | 1 lx = 1 lm/ 1 qm |
| = cd sr/qm | 1 lx = 1 cd sr/ 1 qm |
| **Lichtstrom** | |
| lm = cd sr | |
| **Leuchtdichte L** | |
| cd/qm = nit | |

lx, Lux
cd, Candela
sr, senkrecht
lm, Lumen
qm, Quadratmeter

*Licht- und Beleuchtungseinheiten*

aus dem lateinischen Wort nitere, was scheinen heißt, abgeleitet wurde. Das Nit bezieht sich auf die Lichtstärke, angegeben in Candela (cd) auf eine Flächeneinheit: 1 Nit ist gleich 1 cd/qm.
Daneben wird in den USA für die Leuchtdichte auch die veraltete Dimension *Footlambert* (fL) benutzt. Wobei 1 Footlambert gleich 3.426 cd/qm bzw. 3,426 nits sind.
Früher wurde die Leuchtdichte in Apostilb (asb) angegeben. 1 Apostilb entspricht 0,31831 cd/qm.

**Licht**
*light*

Licht ist eine elektromagnetische Strahlung im sichtbaren Wellenlängenbereich zwischen 380 nm (Blau) und 780 nm (Rot).

| Farbe | Wellenlänge | Frequenzbereich |
|---|---|---|
| Violett | 380 nm ... 430 nm | 700 THz ... 700 THz |
| Blau | 430 nm ... 500 nm | 700 THz ... 600 THz |
| Cyan | 500 nm ... 520 nm | 600 THz ... 575 THz |
| Grün | 520 nm ... 560 nm | 575 THz ... 535 THz |
| Gelb | 560 nm ... 590 nm | 535 THz ... 510 THz |
| Orange | 590 nm ... 625 nm | 510 THz ... 480 THz |
| Rot | 625 nm ... 780 nm | 480 THz ... 385 THz |

*Wellenlängen und deren Frequenzbereiche für das sichtbare Licht*

Licht ist charakterisiert durch die *Farbtemperatur*, in der sich der *Farbton*, also die Wellenlänge des Lichtes, und die *Helligkeit* widerspiegeln. Normalerweise wird als Licht nur das dem menschlichen Auge sichtbare Licht bezeichnet. Aber auch nichtsichtbare Wellenlängen wie Infrarot oder Ultraviolett gehören zu den Lichtwellenlängen.
Licht breitet sich im Vakuum mit einer Geschwindigkeit von

300.000 km/s aus. Diese Geschwindigkeit heißt Lichtgeschwindigkeit (c0). In dichteren Medien wie Glas reduziert sich diese Geschwindigkeit auf den Wert „c".

**Lichtart**
*illuminant*

Die Lichtart definiert den Wellenlängenbereich des Lichtes, der von einer emittierenden Lichtquelle erzeugt wird. Die Lichtart ist also abhängig von der Farbtemperatur und ihrem Emissionsspektrum, der spektralen Verteilung der Lichtenergie.
Die Commission Internationale díEclairage (CIE) hat diverse künstliche und natürliche Lichtarten definiert und diese mit den Buchstaben bezeichnet.
So entspricht die Lichtart „A" dem Licht einer Glühbirne. Die Farbtemperatur liegt bei dieser Lichtquelle bei 2.856 Kelvin (K), der Wellenlängenbereich zwischen 380 nm und 770 nm. <br>
Bei der Lichtart „C", die bläulicher ist, liegt die Farbtemperatur bei 6.774 K, und mit Lichtart „D" wird Tageslicht, Daylight, spezifiziert. Diese Spezifikation spiegelt sich u.a. in Projektorlampen wider. Bei den D-Lichtarten werden die ersten beiden Stellen der Farbtemperatur als Zusatz hinter dem „D" angegeben. So hat beispielsweise D65 eine Farbtemperatur von 6.500 K, D55, die gelber ist als D65, eine von 5.500 K.

**Lichtstrom**
*luminous flux*

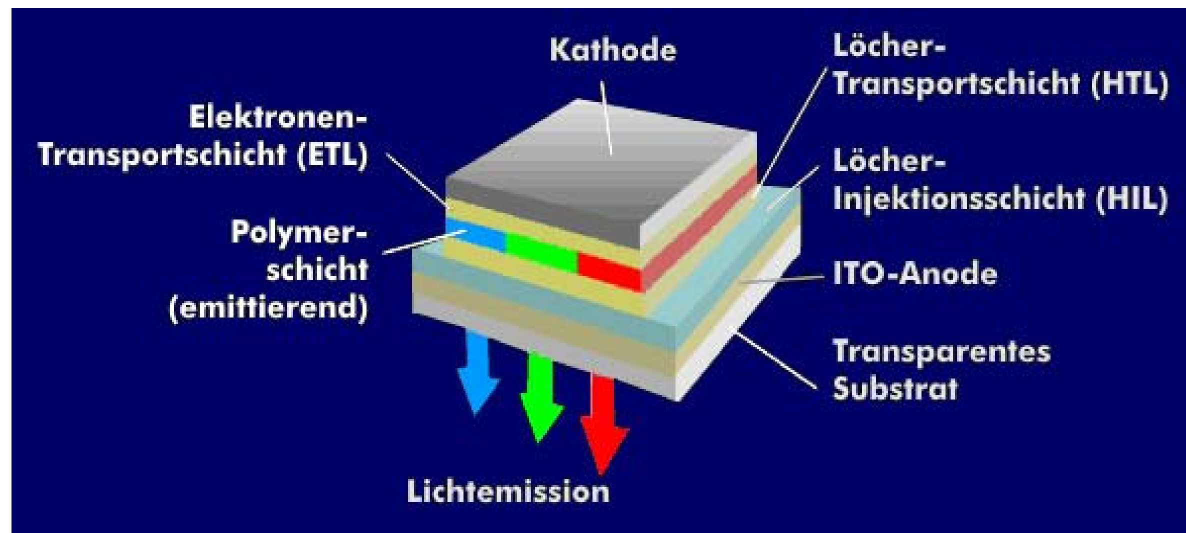
*Lumen* ist die Maßeinheit für den Lichtstrom, allgemein für die *Helligkeit*. Sie ist definiert als der Lichtstrom, den eine punktförmige Lichtquelle allseitig ausstrahlt. Eine punktförmige Lichtquelle von 1 *Candela* (cd) Stärke sendet allseitig einen Gesamtlichtstrom von 4 Pi aus, das entspricht 12,57 Lumen (lm). Der Lichtstrom einer Glühbirne liegt zwischen 10 lm/W und 20 lm/W, Energiesparlampen und *OLEDs* haben etwa die doppelte Lichtausbeute, Leuchtstoffröhren bringen es auf 100 lm/W und *Power-LEDs* erreichen über 70 lm/W.
Von der Lichtmenge spricht man, wenn ein Lichtstrom in einer festen Zeiteinheit zur Verfügung steht: Lumen-Sekunden (lms).

# Leuchtdioden

**OLED,** *organic light emitting diode*

Organic *Light Emitting Diode* (OLED) ist eine Weiterentwicklung der LED für die Display-Technik. Die aktiven, farbig leuchtenden OLEDs, entwickelt von Kodak, bestehen im Gegensatz zu LEDs aus organischen Halbleitern, die in einem elektrischen Feld *Licht* emittieren. Da die OLEDs selbstleuchtend sind, entfällt die bei LCD-Displays sonst übliche Hintergrundbeleuchtung, was eine Energieersparnis mit sich bringt.

OLEDs sind mehrlagige Flächenemitter. Sie bestehen aus einer biegsamen, transparenten Trägerfolie, auf die eine extrem dünne, elektrisch leitende Schicht aus Indium-Zinnoxyd (ITO) aufgebracht ist. Zwischen dieser Anode und der zweiten Elektrode, der Kathode liegen verschiedene Schichten: die Löcher-Injektionsschicht (HIL), die Löcher-Transportschicht (HTL), die lichtemittierenden Polymerschichten (EL) und die Elektronen-Transportschicht (ETL). Die Elektronen und Löcher fließen über das elektrische Feld zwischen der Anode und der Kathode zur Mitte des Flächenemitters, wo sie in der organischen Polymerschicht rekombinieren und dabei Photonen aussenden. Das so erzeugte Licht gelangt durch das transparente Substrat zur



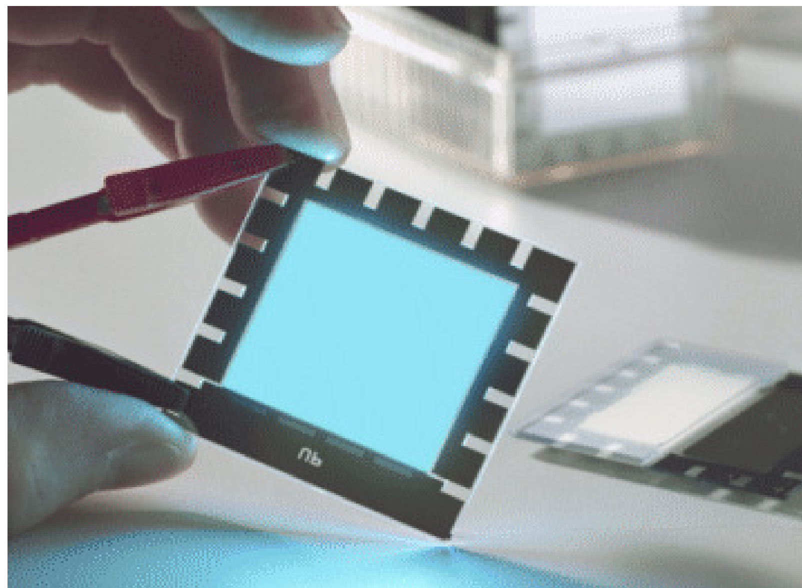

*Aufbau der OLED*

# Leuchtdioden

Displayoberfläche. Dabei bestimmt das Material der Polymerschicht die Leuchtfarbe. So leuchtet Polythiophen rot, Polyfluor blau und Polyphenylenvinyl grün.

Von den elektrischen Eigenschaften her sind OLEDs durchaus mit konventionellen Dioden vergleichbar. Liegt keine Spannung an, fließen nur geringe Sperrströme. Erst bei Erreichen einer bestimmten Schwellspannung von einigen Volt wird der mehrlagige Flächenemitter durchlässig und der Strom steigt schnell an. Die Betriebsspannung liegt zwischen 5 V und 10 V und die Stromdichte bei einigen Milli-Ampere bis hin zu einem Ampere pro Quadratzentimeter.

Vom Aufbau her gibt es Aktiv-Matrix-OLEDs (*AM-OLED*) und Passiv-Matrix-OLEDs (*PM-OLED*). Aktiv-Matrix-OLEDs haben bessere technische Eigenschaften, sind aber komplizierter herzustellen als die mit Passiv-Matrix, weil sie zur Ansteuerung Dünnschichttransistoren benutzen. Allerdings ist die Lebensdauer kürzer, womit die Zeitspanne gemeint ist, bei der der Helligkeitswert auf 80 % der Anfangshelligkeit abfällt. Das hängt damit zusammen, dass die Degration der *Helligkeit* von der höchsten *Lichtstärke* abhängig ist.



*OLED als Beleuchtungselement, Foto: Philips*

Bei Passiv-Matrix-OLEDs werden die OLEDs aller Zeilen gleichzeitig eingeschaltet, indem die gesamte Zeile, an die alle Kathoden angeschlossen

werden, auf Masse gelegt wird. Diese Ansteuerung wird als Single Line Addressing (SLA) bezeichnet. Die Helligkeit der OLEDs wird spaltenmäßig von den Anoden aus mit Pulsweitenmodulation (PWM) gesteuert. Das bedeutet, dass die jeweilige OLED für kürzere oder längere Zeit eingeschaltet wird. Die gesamte Helligkeitsansteuerung ist somit abhängig von der Zeilenaktivierungszeit und der Pulsdauer an der Anode.
OLEDs zeichnen sich durch eine hohe *Leuchtdichte* und einen guten Kontrast aus und können Graustufen darstellen. Ihre Leistungsaufnahme ist proportional zum *Lichtstrom*, sie sind selbstleuchtend, biegsam, extrem flach und haben eine hohe Auflösung mit einer Pixelgröße von 5 µm, die sich durch die Steuerleitungen für die Transistoren auf etwa 0,1 mm vergrößert. Ihre Schaltgeschwindigkeit ist sehr kurz und liegt bei etwa 10 µs, darüber hinaus bieten sie einen extremen Betrachtungswinkel von bis zu 160°. Sie können wie ein LCD-Display angesteuert werden. Die Farbstabilität ändert sich mit der Lebensdauer, vor allem bei Blau, wodurch sie farbstichig werden.
Dank ihrer Leuchtkraft, der Flexibilität und der geringen Leistungsaufnahme eignen sich OLEDs ideal für das Display von Mobilgeräten wie Notebooks, PDAs, Handhelds, Handys, usw. oder für den Einsatz im Kraftfahrzeug. Des Weiteren werden besonders hell leuchtende OLEDs als Beleuchtungselemente entwickelt. Die Helligkeitswerte liegen bei 50 Lumen/W, die Lichtstärke kann bis zu 100.000 *cd*/qm betragen, der *Farbwiedergabeindex* (CRI) beträgt 95 und die Lebensdauer liegt bei über 10.000 Betriebsstunden bei 100 cd/qm. Diese OLEDs werden als *White*-OLEDs (WOLED) bezeichnet. Im Vergleich dazu haben Glühbirnen eine Lichtausbeute, die zwischen 10 *lm*/W und 20 lm/W liegt.

**PLED,** *polymere light emitting diode*

Polymere *Light Emitting Diode* (PLED) sind wie *OLEDs* Neuentwicklungen von farbig leuchtenden Komponenten für Displays. Die polymere Technik unterscheidet sich gegenüber

# Leuchtdioden

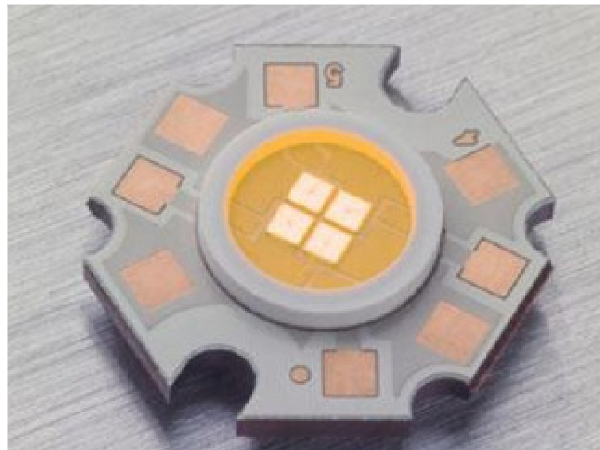



*Selbstleuchtendes PLED-Display, Foto: Electronic*

normalen LEDs und OLEDs durch den Aufbau. Die PLEDs benutzen undotierte Polymere, die zwischen zwei Elektroden angebracht sind.
Die Vorteile dieser Technik gegenüber LEDs sind der geringe Energieverbrauch, die extreme Flachheit und die Biegsamkeit des Displays sowie die hervorragenden Leuchteigenschaften.

**Power-LED**
*power LED*

Die rasante Entwicklung der Leuchtdioden hat lichtstarke Power-LEDs hervorgebracht, die mehrere Watt an elektrischer Leistung verbrauchen. Diese Power-LEDs, die man auch zu LED-Arrays kombiniert, werden dank ihrer Lichtstärke für die Beleuchtung in Gebäuden, in LED-Projektoren, als LED-Spots und in LED-Scheinwerfern, sowie in der Verkehrs- und Signaltechnik und für die Straßenbeleuchtung eingesetzt werden.
Hochleistungs-LEDs arbeiten mit Strömen von 2 A und darüber, die von den Treiberschaltungen erbracht werden müssen.
Die Vorteile von Power-LEDs gegenüber herkömmlichen Leuchtmitteln liegen in platzsparenden Bauweise und der enormen Lichtausbeute, der sogenannten Efficacy, die bei über 100 lm/W liegt. Die Helligkeit einer Power-LED erreicht Werte von bis zu 1.000 Lumen (lm) bei



*4-Chip-Power-LED mit einem Farb-wiedergabeindex von 85, Foto: dotlight.de*

# Leuchtdioden

einer Farbtemperatur von 6.500 K. Es gibt auch Power-LEDs als White LEDs mit kaltweißem und neutralweißem Licht, die sich für Raumbeleuchtung eignen.
Im Vergleich zur Power-LED liegt die Lichtausbeute der Leuchtstoffröhre zwischen 50 lm/W und 80 lm/W, die von Energiesparlampen bei etwa 30 lm/W und die von Glühlampen bei etwa 10 lm/W. Außerdem ist die Lebensdauer der Power-LED mit über 50.000 Betriebsstunden wesentlich höher als die von Glühlampen oder Leuchtstoffröhren.
Dazu ist allerdings anzumerken, dass die Lebensdauer der Power-LEDs sehr stark von der Sperrschichttemperatur und damit von der Stromstärke abhängt und die Lebensdauerangaben der verschiedenen Hersteller recht unterschiedlich sind. So geben einige Hersteller als Lebensdauer die Zeit an, bei der die Helligkeit auf 70 % der Anfangshelligkeit gefallen ist, andere geben den 50-%-Wert an.

**Raumwinkel**
*sr, steradian*

Der Begriff Raumwinkel wird in der Beleuchtungstechnik benutzt und ist die Bezugsgröße zwischen der *Lichtstärke* und dem *Lichtstrom*. Als Maß dient die Fläche, die der Raumwinkel aus einer Einheitskugel herausschneidet. Beträgt der Raumwinkel 2Pi, dann entspricht die Fläche der einer Halbkugel. Der Steradian beträgt in diesem Beispiel 1/(4 x pi).
Der Raumwinkel spielt bei Beleuchtungselementen eine entscheidende Rolle. So bei Niedervoltlampen, *Leuchtdioden* und *Power-LEDs*.

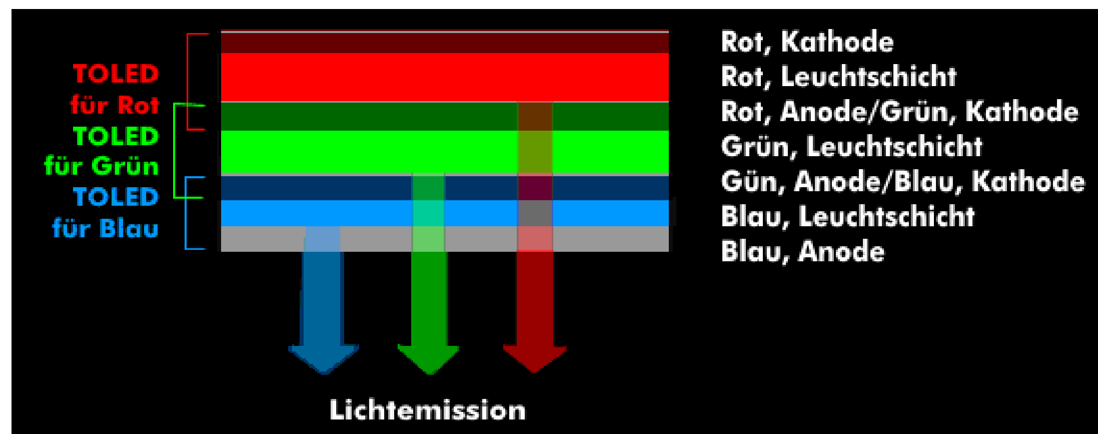
**RC-LED,** *resonant cavity LED*

Die Resonant Cavity *LED* (RC-LED) ist eine Leuchtdiode, die mit einem Resonanzkörper arbeitet und sich gegenüber der normalen Leuchtdiode durch eine geringere spektrale Bandbreite auszeichnet. Die RC-LED leuchtet bei 650 nm mit einer spektralen Breite von 10 nm. Die übertragbare Datenrate beträgt 600 Mbit/s, der Sendepegel liegt bei -2 dBm bis -6 dBm. Die RC-LED kann in einem großen Temperaturbereich zwischen -40 °C und +85 °C

eingesetzt werden. Ihr Einsatz ist in Verbindung mit Polymerfasern und Glasfasern möglich, mit PCS-Fasern ist er nur bedingt möglich.

**SOLED,** *stacked OLED*

Die SOLED-Technologie ist eine Display-Technik, die sich von der Anordnung der *Organic Light Emitting Diodes* (OLED), gegenüber anderen Diplays unterscheidet. Bei der Stacked-OLED-Technologie sind die lichtemittierenden Elektroden und das lichtemittierende Material der OLEDs transparent. Es handelt sich um sogenannte Transparent OLEDs (*TOLED*). Da sie lichtdurchlässig sind, können die drei Toleds für die Primärfarben Rot, Grün und Blau übereinander angeordnet werden, was zu der Bezeichnung Stacked OLED (SOLED) geführt hat. Jede der drei Toleds wird einzeln angesteuert und kann über den zugeführten Strom in der *Helligkeit* variiert werden. Werden alle drei Toleds mit dem gleichen Strom angesteuert, dann leuchtet das entsprechende Pixel unbunt, zwischen *weiß*, grau und schwarz. Bei Erhöhung der *Lichtstärke* verändert sich der Grauwert hin zu Weiß.




*Aufbau eines SOLED-Displays*

Da die Toleds übereinander angeordnet sind, besteht ein Pixel nicht aus einem Farbtripel, sondern aus einem einzelnen in der *Farbe* und der Helligkeit steuerbaren Bildpunkt.

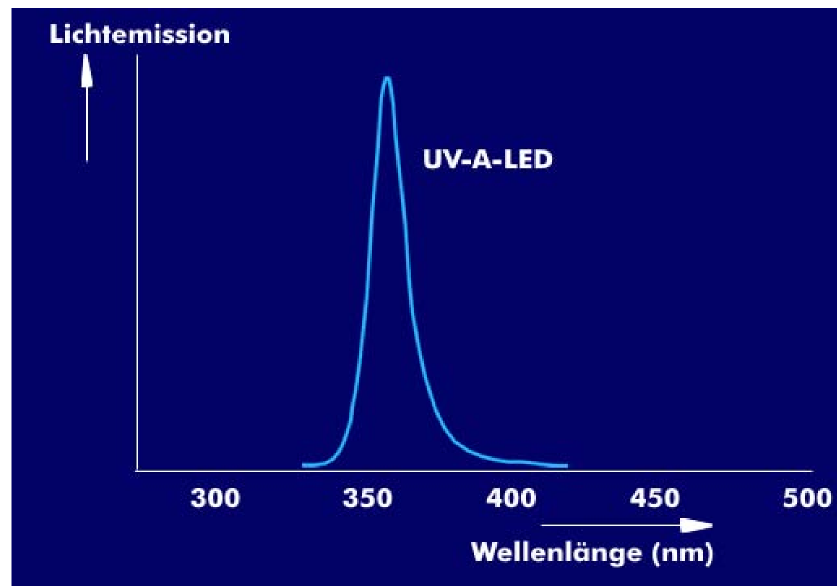
ITWissen
Das große Online-Lexikon
für Informationstechnologie

# Leuchtdioden

**SSL,** *solid state lighting*

Die Bezeichnung Solid State Lighting (SSL) ist der Oberbegriff für alle Leuchtkomponenten, die auf Halbleiterbasis arbeiten und infolge von Elektrolumineszenzerscheinungen *Licht* emittieren. Darunter fallen *Leuchtdioden* und ihre vielfältigen Varianten wie die mit organischen Materialien arbeitenden *OLEDs* und die flexiblen FOLEDs, die polymeren *PLEDs*, die *SOLEDs* und TOLEDs.

SSL-Komponenten sind Kaltlichtquellen, die die zugeführte Energie in Licht umwandeln. Unter Elektrolumineszenz versteht man die Fähigkeit von Halbleitern Elektronen mit gleichzeitiger Abstrahlung von Photonen zu verlagern. Dies geschieht durch einen so genannten Elektronen- oder Quantensprung von einer Schale des Bohrschen Atommodells auf eine andere. Ein Quantensprung erfolgt immer unter Aufnahme oder Abgabe der Energiedifferenz. Bei dem Übergang von einer höheren in eine niedrigere Energiestufe wird die Energie in Form eines Photons abgegeben. Den Prozess der wechselseitigen Aufnahme von Energie und späterer Rückkehr in den Urzustand unter Abstrahlung von Licht (Photonen) nennt man Lumineszenz.




*Lichtemission einer UV-A-LED*

**UV-LED,** *ultraviolet light emitting diode*

UV-*Leuchtdioden* (UV-LED) sind Ersatz für UV-Lampen und werden in der Oberflächenbehandlung eingesetzt. Sie strahlen in den

Wellenlängenbereichen UV-A, UV-B und UV-C mit Wellenlängen zwischen 200 nm und 400 nm. Der Wellenlängenbereich vom UV-*Licht* „A" (UV-A) liegt zwischen 315 nm und 400 nm und verursacht eine Bräunung der Haut. Diese UV-Strahlung wird für die photokatalytische Luftaufbereitung genutzt, UV-C mit Wellenlängen unterhalb von 280 nm wird in Desinfektionsgeräten eingesetzt.
UV-LEDs werden in Zukunft auch für die Herstellung von weißen LEDs, *WLED*, benutzt.

**Weiß**
*white*

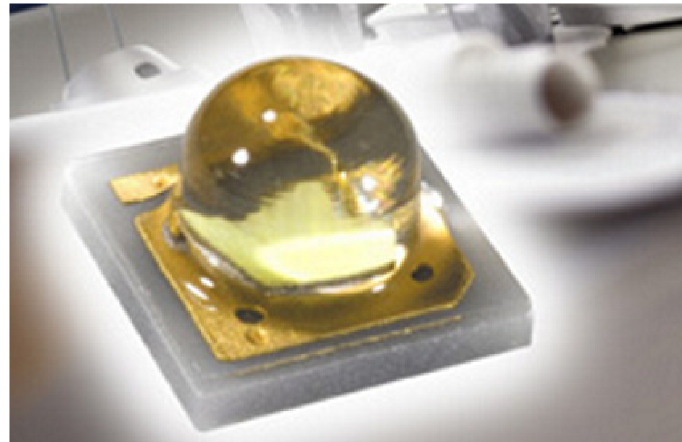
Weiß ist in der Farbdarstellung die *Farbe*, die vollständig reflektiert und kein *Licht* absorbiert. Sie umfasst alle Lichtenergie innerhalb des sichtbaren Spektrums. Weiß kann in seiner *Farbtemperatur* angegeben werden oder aber mit den Koordinatenwerten im CIE-*Farbraum*.
Vom Farbempfinden her unterscheidet man in der Beleuchtungstechnik zwischen Kalt-Weiß, Neutral-Weiß und Warm-Weiß. Während die Farbtemperatur von Kaltweiß zwischen 5.000 *Kelvin* (K) und 10.000 K liegt, ist die von Neutralweiß zwischen 3.500 K und 5.000 K und die von Warmweiß zwischen 2.600 K und 3.500 K.
Bei Farbmessungen und Fernsehübertragungen ist Weiß ein Standard, der dem absoluten Reflexionsverhalten entspricht.
Je nach Farbstandard weichen die Weißwerte geringfügig voneinander ab. So definieren der PAL-Fernsehstandard nach der EBU, SMPTE und verschiedene Grafikprogramme Weiß mit einer Farbtemperatur von 6.500 K (D65) im CIE-Farbraum mit den xy-Koordinaten 0,3127/0,3290. Dies entspricht dem Tageslicht. Bei Bewölkung hat das Weiß eine Farbtemperatur von 5.500 K (D55) und die Koordinaten 0,3324/0,3474.
In den verschiedenen Farbmodellen liegt Weiß am Ende der Unbunt-Achse. Bei den Graustufen hat Weiß mit 100 % ebenso den höchsten Wert wie in der Munsell-Skala mit dem Wert 10.
In der digitalen Videotechnik gibt es ein Weiß, das oberhalb vom darstellbaren Weiß liegt und

# Leuchtdioden

als Ultraweiß bezeichnet wird. Das ist der Signalbereich eines digitalen Videosignals, der oberhalb von 100 % Weiß liegt. Dieser Bereich wird auch Headroom genannt. Im Englischen wird dieser Bereich als „Whiter than White“ bezeichnet.

**WLED,** *white LED*

Die Spektralcharakteristiken von *Leuchtdioden* (LED) haben bei bestimmten *Farben* ihr Maximum. Das können die Farben Rot, Grün oder Orange sein, aber nicht *Weiß*. Das für Weiß erforderliche breite Wellenlängenspektrum kann nur indirekt mit Halbleiter-Leuchtkomponenten erzeugt werden. Es gibt mehrere technische Ansätze um Warm-Weiß mit Leuchtdioden zu erzeugen. Diese Ansätze kombinieren die Lichtemission unterschiedlich strahlender Leuchtdioden oder Phosphore.
Einer dieser Ansätze ist Phosphor Conversion. Bei dieser Technik wird eine ultraviolett oder blau strahlende *UV-LED* mit einem gelben oder multichromatisch fluoreszierenden Phosphor beschichtet. Der gelbe Phosphor wird von den Photonen der blau strahlenden Leuchtdiode aktiviert und konvertiert die blaue Strahlung in ein gelblich-weißes *Licht* mit einem breiten Wellenlängenspektrum. Die *Farbtemperatur* dieser Pseudo-White-LEDs kann man beim Fertigungsprozess festlegen. Sie gibt es in warmweißem, neutralweißem und kaltweißem Licht mit Farbtemperaturen zwischen 2.500 *Kelvin* und 10.000 Kelvin.
Andere Techniken arbeiten mit LED-Arrays aus roten, grünen und blauen LEDs, die so zum



*Ultraweiße LED (WLED), Foto: Osram Opto Semiconductors*

# Leuchtdioden

Leuchten angeregt werden, dass die Kombination der drei Lichtquellen weißes Licht emittiert. Die drei LEDs werden in einem gemeinsamen Gehäuse dicht beieinander angebracht und können in ihrer Farbtemperatur einzeln gesteuert werden. Dadurch kann die Farbtemperatur für Weiß eingestellt werden.
Damit die Lichtausbeute von Leuchtdioden möglichst groß ist, wird das emittierte Licht in der LED durch eine Verspiegelung nach außen reflektiert. Weiße LEDs können über die Farbtemperatur, den *Farbwiedergabeindex* (CRI) und über die Farbstichigkeit bewertet werden. Was die Farbtemperatur betrifft, so gibt es ultraweiße LEDs mit Farbtemperaturen zwischen 5.700 K und 6.500 K, neutralweiße und warmweiße LEDs mit Farbtemperaturen zwischen 2.700 K und 4.500 K. Der Farbwiedergabeindex liegt bei den gängigen WLEDs zwischen 70 und 80 und höher, und die Farbstichigkeit wird durch den *Bin-Code* festgelegt. In diesem Kennwert ist das Farb- und Helligkeitsempfinden der Leuchtdioden (LED) zusammengefasst, da der Weißton diverse Farbnuancen haben kann, die von grünlich, gelblich, bläulich bis hin zu violett reichen können.
Die Lichtausbeute von WLEDs beträgt typischerweise 100 *lm*/W. Dieser Wert steht für die *Lichtstärke* an der LED-Oberfläche.

# Impressum

ITWissen
Das große Online-Lexikon für Informationstechnologie

**Herausgeber**

Klaus Lipinski
Datacom-Buchverlag GmbH
84378 Dietersburg

ISBN: 978-3-89238-182-2

**Leuchtdioden**









Layout & Gestaltung: Sebastian Schreiber
Titel: © klikk - Fotolia.com
Produktion: www.media-schmid.de
Weitere Informationen unter **www.itwissen.info**